

UTILITE DE L'INFORMATION HISTORIQUE POUR L'ETUDE DU RISQUE DE CRUES

Olivier PAYRASTRE¹, CEREVE (ENPC-ENGREF-UPVM),
6 et 8 av. Blaise Pascal, Cité Descartes, 77455 Marne la Vallée Cedex 2.
Tél : 01.64.15.37.69. Fax : 01.64.15.37.64. Courriel : payrastre@cereve.enpc.fr

Résumé

L'estimation du risque d'inondations repose généralement sur la notion d'occurrence statistique des crues² (crue décennale, centennale, etc.). Les valeurs de débits correspondantes, également appelées quantiles de crues, sont souvent difficiles à évaluer en raison du manque de données systématiques concernant le débit des cours d'eau. De très nombreuses rivières restent d'ailleurs non-jaugées en France et aucune mesure de débit n'est alors disponible. Dans les meilleurs des cas, lorsque des mesures ont été effectuées sur quelques années, on peut se livrer à un exercice d'extrapolation statistique qui s'avère cependant très hasardeux et délicat, et ceci se traduit souvent par une forte incertitude sur les quantiles de crue estimés.

D'autres sources d'informations peuvent cependant être exploitées pour affiner la connaissance des crues extrêmes : tout d'abord l'information issue d'observations humaines et qui a été conservée dans des fonds d'archives – également appelée information 'historique' ; ensuite, l'information pouvant être tirée de l'observation du lit même du cours d'eau – également appelée information 'paléohistorique'.

Cet article présente les possibilités d'utilisation de l'information historique dans l'étude statistique des crues (le cas de l'information paléohistorique n'est pas abordé).

L'accès aux données historiques concernant les crues nécessite un large travail de recherche en archives, ce qui explique que l'utilisation de ces données soit assez peu développée. La seule exception concerne peut-être les grands fleuves Français pour lesquels les chroniques de crues historiques sont relativement bien connues.

De plus, par comparaison aux mesures systématiques de débit, l'information historique sur les crues présente certaines spécificités inhabituelles: elle est liée à un 'seuil de perception' en deçà duquel les informations relatives aux crues n'ont pas été conservées en archives, ou du moins pas de façon systématique; de plus, l'information historique concernant une crue donnée peut être de différente nature: une estimation de la valeur du débit, ou simplement un classement par comparaison à d'autres crues, parfois même uniquement la date de la crue (qui a dépassé le seuil de perception).

Malgré ces spécificités, l'information historique peut souvent être ajoutée utilement à une chronique de débits mesurés pour l'analyse fréquentielle des crues. Plusieurs travaux théoriques ont d'ailleurs montré l'intérêt d'utiliser des données historiques, même très partielles, pour estimer les quantiles de crue.

¹ Adresse actuelle : Service de Prévision des Crues du Grand Delta, DDE du Gard - 89, rue Weber - CS 52002 - 30907 Nîmes cedex ; tél.: 04.66.62.64.22 ; fax : 06.66.62.64.80 ; courriel : olivier.payrastre@equipement.gouv.fr

² Les crues sont définies par leur probabilité d'occurrence sur une année, par exemple 0,1 pour une crue décennale, 0,01 pour une crue centennale, etc.

En France quelques reconstitutions de chroniques de crues historiques ont d'ores et déjà été menées avec succès ces dernières années, sur l'Isère et l'Ardèche par exemple. Le cas de l'Ardèche est présenté dans cet article.

On peut enfin remarquer que l'utilisation d'informations historiques reste possible, sous certaines conditions, dans un cadre urbain. A titre d'illustration une étude menée récemment dans la ville de Nice est présentée.

1. Introduction

La nature même des risques naturels fait qu'il est impossible de s'en prémunir de façon systématique. En conséquence, les différentes mesures de prévention et de protection contre les inondations (plans de prévention, plans de secours, réalisation d'ouvrages de protection) nécessitent de définir au préalable l'amplitude de la crue contre laquelle la protection doit être assurée.

Ce choix est généralement réalisé suite à une étude statistique qui consiste à relier les débits de crues à leur probabilité annuelle de dépassement : les valeurs de débits ainsi obtenues sont appelées quantiles de crue. Les choix de protection sont effectués en considérant le quantile correspondant à un risque jugé acceptable pour la société : suivant le contexte ce quantile correspond souvent à une probabilité de dépassement de 0,1 (période de retour 10 ans), 0,01 (100 ans), ou 0,001 (1000 ans).

La détermination des quantiles nécessite de disposer d'un jeu de données en rapport avec la fréquence d'occurrence des crues que l'on souhaite appréhender. Or on souffre actuellement en France d'un manque cruel de données concernant les débits de crue des cours d'eau. Les services d'annonce des crues ont été créés à la fin du 19^{ème} siècle mais ils concernaient uniquement les principaux cours d'eau et n'ont bien évidemment pas réalisé immédiatement des mesures systématiques et continues des débits (Les niveaux des principales crues ont cependant été relevés par des observateurs et peuvent encore être retrouvés dans les archives...). Si l'on possède aujourd'hui une bonne connaissance de l'historique des crues des grands fleuves Français, la situation est bien différente sur les autres cours d'eau : dans les meilleurs des cas des mesures systématiques ont été mises en place après la seconde guerre mondiale et l'on dispose alors de quelques dizaines d'années de mesures de débit ; mais la plupart des cours d'eau Français restent non jaugés c'est à dire qu'aucune mesure de débit n'y est effectuée de façon systématique. A titre d'exemple on peut estimer que seuls 12% des bassins versants de moins de 100 km² sont équipés (653 stations limnimétriques recensées sur ces bassins³).

La conséquence de ce manque de données est illustrée sur la figure 1 (Gaume, 2002). Ce graphique représente le résultat du calage d'une loi statistique sur un jeu de mesures de très courte durée. La période de retour estimée de la plus forte crue observée est estimée à 12 ans, de façon très incertaine en raison de la courte période d'observation (fluctuation d'échantillonnage). Les quelques crues observées permettent de caler les paramètres d'une loi statistique et ainsi d'extrapoler les observations et d'estimer les quantiles pour des périodes de retour très élevées (droite continue). Toutefois cette extrapolation ne correspond qu'à une hypothèse statistique et ne repose sur aucune réalité observée : on pourrait imaginer que les quantiles de période de retour élevée suivent une tout autre tendance (droites en pointillés), et en toute rigueur on doit admettre que l'information dont on dispose permet simplement d'affirmer que les quantiles correspondant à de fortes périodes de retour se situent quelque part dans la zone grisée.

³ Source : banque HYDRO du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

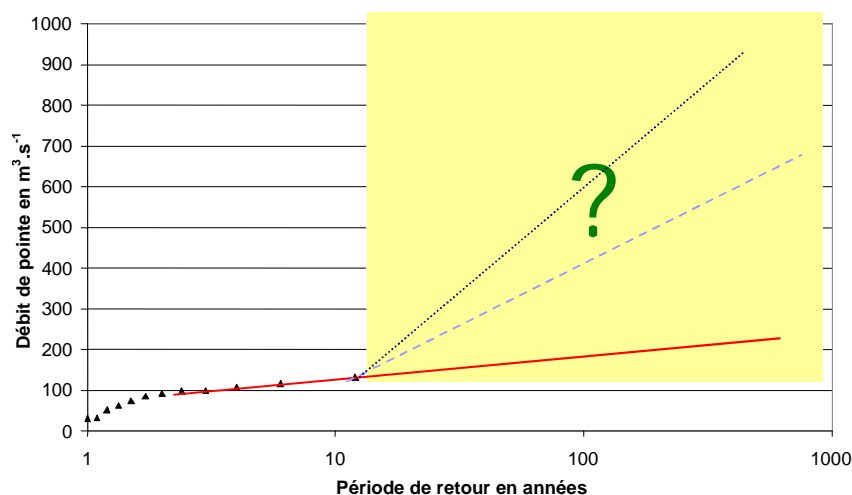


Figure 1: illustration de l'incertitude sur l'estimation des quantiles de crue liée à la longueur limitée de la période d'observation.

Pour affiner l'estimation des quantiles il est nécessaire d'ajouter des informations concernant des crues de forte période de retour. Pour cela deux sources indirectes d'information peuvent être explorées et exploitées:

- L'information dite 'historique', qui regroupe toutes les informations produites et enregistrées par l'homme suite aux différentes crues, dans la période précédant l'enregistrement systématique des débits. L'information historique se retrouve dans différents fonds d'archives et est parfois suffisante pour estimer la valeur des pics de débit de crue. Dans les meilleurs des cas, cette information permet de retrouver la trace des crues sur une période remontant jusqu'au moyen - âge.
- L'information dite 'paléohistorique', constituée de données tirées directement du lit du cours d'eau, et faisant intervenir des sciences telles que la sédimentologie, la géomorphologie et la géobotanique. Cette information est généralement plus éparse et moins complète que l'information historique mais elle permet de remonter très loin dans le temps (plusieurs millénaires).

Dans cet article nous allons nous focaliser sur le cas de l'information historique, de façon à présenter à la fois les difficultés liées à sa collecte et à son utilisation, mais également et surtout l'utilité de son utilisation pour l'estimation des quantiles de crue. Deux exemples seront présentés : le premier, concernant les travaux menés par le Cemagref de Lyon sur la rivière de l'Ardèche, est intéressant par l'exhaustivité de l'inventaire effectué et la rigueur du traitement de l'information historique ; le deuxième exemple, qui concerne des travaux menés par le CEREVE dans la région de NICE, présente l'intérêt d'avoir une application plus urbaine et donne une idée de l'information qui peut être collectée et exploitée dans un temps limité (deux semaines pour cette étude).

2. L'utilisation de l'information historique pour l'étude statistique des crues.

2.1 Collecte de l'information.

En France la collecte de l'information historique représente un travail particulièrement lourd et fastidieux. En effet l'information concernant les crues est éparpillée dans des fonds d'archives très divers et ne fait l'objet d'aucun référencement spécifique. Pour cette raison

une collecte relativement exhaustive nécessite la collaboration avec des historiens qui sont capables d'identifier rapidement les fonds d'archives pouvant receler des informations et qui peuvent également évaluer la fiabilité de ces informations.

Pour garder la maîtrise quantitative des documents à exploiter, la collecte peut débuter utilement par l'établissement d'un « Etat Général des Sources » (Cœur, 2000), qui consiste à lister les différents documents méritant d'être consultés, en indiquant leur origine et leur lieu d'archivage. C'est lors de cette phase que le recours à un historien peut s'avérer très utile : en effet celui-ci, à partir d'une liste d'informations recherchées établies par des hydrologues (sorte de 'grille de lecture'), saura se repérer rapidement dans les fonds d'archives disponibles et identifier les documents potentiellement intéressants. En France plusieurs travaux de ce type ont été menés par l'historien D.Cœur, qui a travaillé en collaboration avec le Cemagref de Lyon pour les recherches historiques sur les crues de l'Isère et de l'Ardèche notamment.

A titre d'exemple on peut citer les fonds documentaires explorés dans le cas de l'étude de l'Ardèche (Lang, 2002): Archives Départementales, archives de la DDE (où furent retrouvés beaucoup de dossiers intéressants des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, notamment les relevés hydrométriques journaliers), archives des journaux locaux, Archives Nationales, bibliothèques de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et de la Société Hydrotechnique de France, et enfin le fonds Maurice Pardé à Grenoble.

Les différents documents de l'Etat Général des Sources peuvent ensuite être examinés par les hydrologues de façon à confirmer leur intérêt et à y puiser le cas échéant les informations concernant les dates de crues, les niveaux d'eau atteints, les dégâts occasionnés, et également l'évolution de l'aménagement et de la topographie du cours d'eau.

L'information finale recherchée est le débit de pointe des événements de crue. Toutefois l'information recueillie n'est parfois pas suffisante pour pouvoir reconstituer le débit et on doit alors se contenter de classer les différentes crues entre elles, ou même parfois simplement de recenser les crues ayant dépassé un certain seuil de débit.

2.2 Nature de l'information recueillie.

L'information historique recueillie se caractérise par sa nature incomplète, c'est à dire que les recherches historiques effectuées ne permettent jamais un recensement exhaustif des crues : on ne retrouve en général que des informations relatives aux crues les plus fortes. Pour cette raison l'information historique peut être qualifiée de non-systématique.

Pour traiter cette information partielle on suppose généralement l'existence d'un seuil de débit, appelé seuil de perception, au delà duquel toutes les crues historiques ont laissé une trace dans les archives et sont donc retrouvées lors de la recherche historique. Ce seuil correspond habituellement à un niveau de crue au delà duquel des dégâts importants ont lieu.

Dans le cas où l'information historique précède une période d'enregistrements systématiques de débits, on obtient finalement un échantillon contenant des données de deux natures différentes (données systématiques et données non-systématiques ou historiques). Ce format de données est représenté sur la figure 2 (Ouarda, 1998).

Utilité de l'information historique pour l'étude du risque de crues

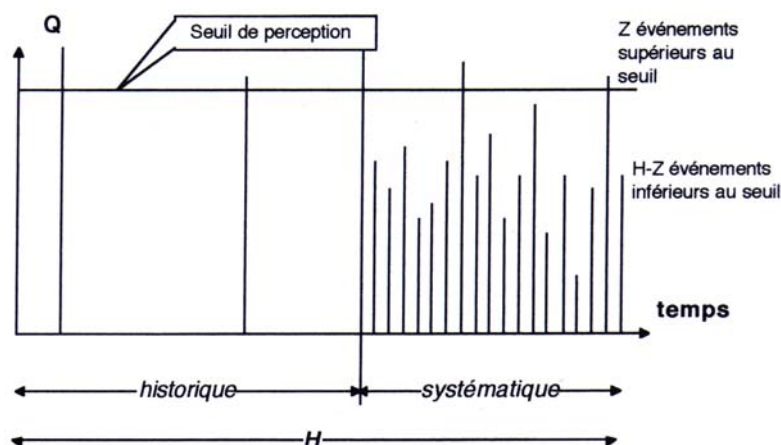


Figure 2 : Exemple d'échantillon regroupant des données systématiques mesurées et des données historiques non-systématiques (tiré de Ouarda, 1998).

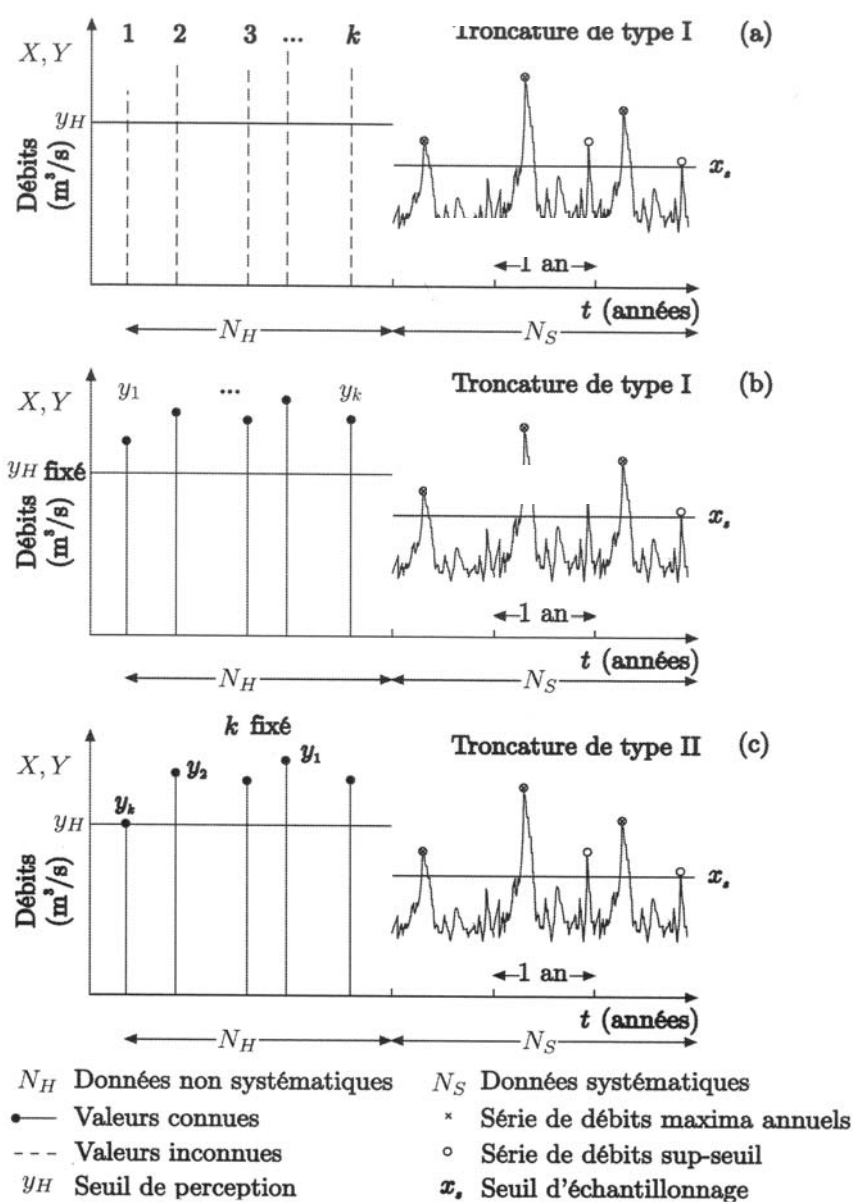


Figure 3 : Différentes natures de données historiques (tiré de Naulet, 2002).

L'information concernant les crues historiques ayant dépassé le seuil de perception peut être de trois types, représentés sur la figure 3 (Naulet, 2002): dans certains cas seules les dates de dépassement du seuil de perception sont connues (cas a), dans d'autres cas la valeur du débit peut-être estimée pour chaque crue ayant dépassé le seuil de perception (cas b), et enfin parfois seules les k plus fortes crues sont connues, le seuil de perception étant alors constitué par la plus faible d'entre elles et n'étant pas déterminé une fois pour toutes en fonction des caractéristiques du cours d'eau (cas c).

2.3 Méthodes statistiques de traitement de l'information historique.

La nature particulière de l'information historique sur les crues (information non-systématique) oblige à adapter les méthodes de traitement statistique utilisées pour l'analyse fréquentielle. Cet aspect ne constitue plus réellement une importante difficulté car il a été largement traité par des travaux théoriques dès les années 80. Les deux grandes méthodes de calage de lois statistiques ont été adaptées pour rendre possible l'incorporation de données historiques (Ouarda, 1998), à savoir:

- la méthode des moments (et plusieurs méthodes dérivées), qui consiste à poser l'égalité entre les moments théoriques de la loi statistique à caler avec les moments empiriques calculés à partir de l'échantillon observé.
- la méthode du maximum de vraisemblance, qui consiste à maximiser la fonction représentant la probabilité d'observer l'échantillon.

On peut remarquer qu'en utilisant judicieusement ces deux méthodes, l'incorporation des données historiques dans l'analyse fréquentielle devient possible quelle que soit la nature de l'information disponible (estimation de débits, dépassements de seuil, ...).

L'évaluation comparative des différentes méthodes de traitement a mis en avant la bonne adéquation de la méthode du maximum de vraisemblance avec la modélisation de l'information historique (Stedinger et Cohn, 1986). Toutefois cette méthode peut parfois poser des difficultés par l'existence de maximum locaux de la fonction de vraisemblance, en particulier dans le cas de l'utilisation d'une loi log-Pearson type III par exemple. Dans ce cas particulier une méthode dérivée de la méthode des moments pondérés et appelée méthode des moments espérés donne des résultats équivalents avec beaucoup moins de difficultés numériques (Cohn *et al.*, 1997 ; Ouarda, 1998).

3. Quelques exemples d'applications.

3.1 Etude du cas de la rivière Ardèche (Cœur, 2000 ; Naulet, 2002 ; Lang, 2002).

Cette étude a été menée dans le cadre de la thèse de R. NAULET, réalisée en cotutelle entre le Cemagref de Lyon (France) et l'INRS-ETE (Québec). Elle constitue l'exemple Français le plus récent d'une étude historique complète menée sur un cours d'eau.

L'intérêt de cette étude réside dans les efforts importants mis en œuvre pour la collecte et l'analyse des données historiques. Outre la collaboration avec l'historien D.Cœur permettant de garantir la qualité et l'exhaustivité des données historiques collectées, un effort important de modélisation hydraulique a été mené de façon à passer de façon cohérente des hauteurs d'eau atteintes en plusieurs points du cours d'eau aux débits correspondants (construction d'un modèle 1D représentant un tronçon de 12 km du cours d'eau, situé pour l'essentiel dans des gorges, en tenant compte de l'évolution dans le temps de la topographie). L'incertitude inhérente à la conversion côtes / débits reste néanmoins élevée pour les crues fortes: $(\Delta Q/Q) = \pm 40\%$. A cela s'ajoute l'incertitude sur certaines côtes de crue reconstituées (± 70 cm) ce qui amène alors à une incertitude combinée de $(\Delta Q/Q) = \pm 60\%$ à 80% (Lang, 2002).

Utilité de l'information historique pour l'étude du risque de crues

Cette incertitude élevée sur les débits est une caractéristique classique de l'information historique qui ne doit pas empêcher sa prise en compte dans l'étude statistique des crues. Le cas de l'Ardèche est d'ailleurs révélateur du changement dans la perception de l'occurrence des crues liée à l'exploitation de l'information historique. La figure 4 (Lang, 2002) présente l'échantillon de données (historiques et systématiques) utilisé sur l'Ardèche, et les résultats du calage de la loi GEV⁴ en fonction du type d'information pris en compte (avec ou sans information historique). Les résultats sont concordants jusqu'à la crue décennale, mais bien différents par la suite.

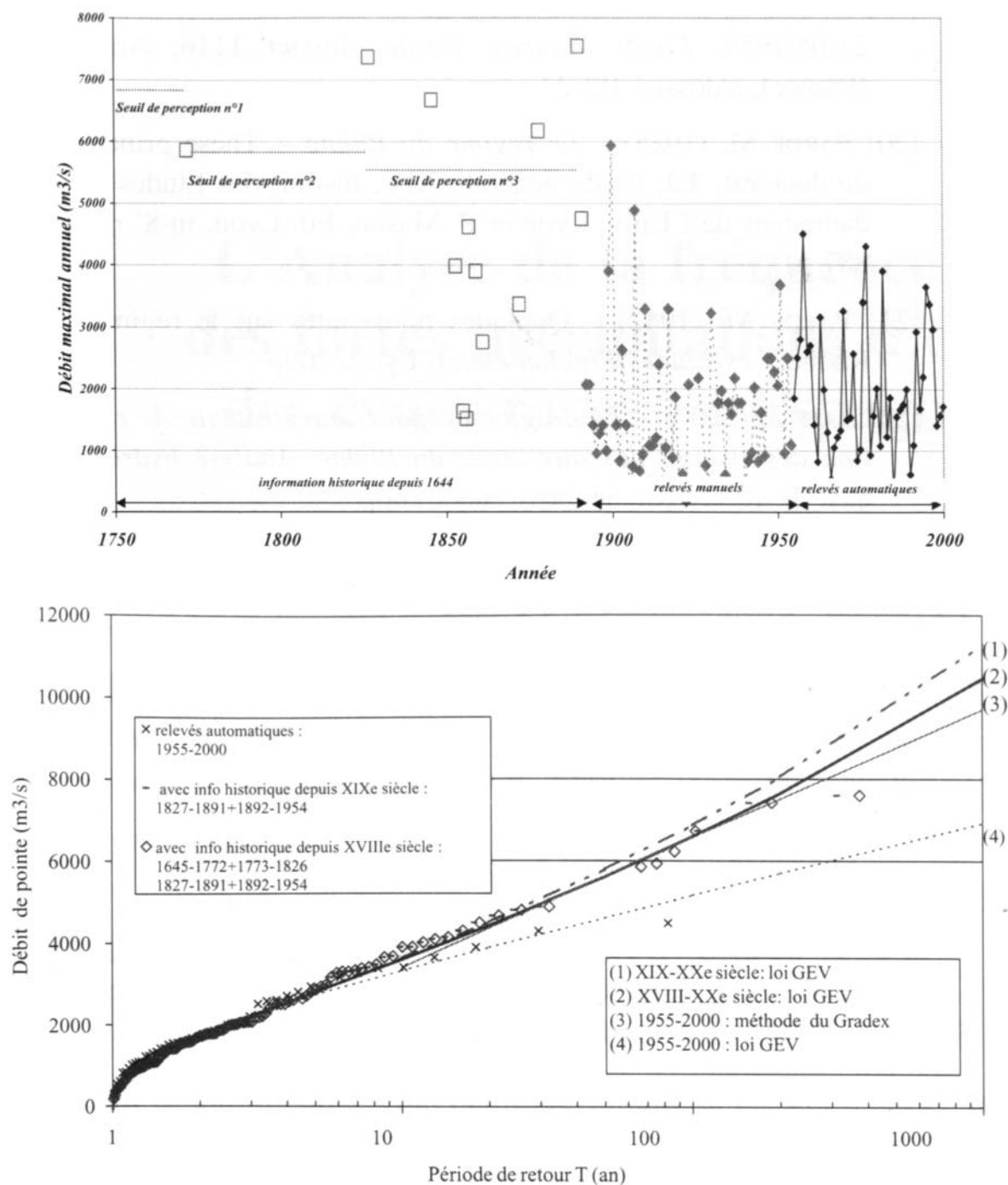


Figure 4 : Chronologie des crues utilisées pour l'étude de l'Ardèche et ajustement de distributions incluant ou non l'information historique (tiré de Lang, 2002.)

⁴ Generalised Extreme Value : il s'agit d'une loi de probabilité à trois paramètres souvent utilisée pour la représentation des débits de pointe de crue des cours d'eau.

Finalement les distributions obtenues en prenant en compte l'information historique concordent relativement bien avec l'extrapolation réalisée à partir d'une information sur les pluies (méthode du Gradex).

3.2 Etude du cas des Vallons Niçois.

Cette étude a été réalisée par le Cereve, en début d'année 2003, pour le compte de la SAFEGE. Elle donne une idée de l'information historique pouvant être recueillie et exploitée dans un laps de temps relativement court (de l'ordre de deux semaines pour cette étude).

Dans cette étude la problématique concernait les petits cours d'eau situés à l'amont de la ville de Nice (également appelés vallons), et intégrés dans leur partie aval au réseau d'assainissement de la ville. L'objectif était d'approcher les débits de crue pouvant être atteints dans ces cours d'eau, pour lesquels la surface drainée n'excède pas 20 km².

L'enquête en archives s'est dans ce cas limitée, pour des raisons de temps, aux Archives Départementales. Elle a été accompagnée d'un enquête de terrain avec recueil de témoignages.

Un rapide examen des fonds disponibles a permis d'identifier quelques vallons pour lesquels un nombre conséquent de références étaient présentes en archives. Pour cette raison les vallons traversant effectivement la ville de Nice n'ont pas été étudiés dans un premier temps : un autre vallon (le Malvan, 24 km²) tout à fait comparable mais présentant manifestement beaucoup plus de références a été choisi.

Un rapide dépouillement des références existant (notamment des archives des services des Ponts et Chaussées, ainsi que des rapports d'expertise établis à la suite des crues), ainsi que l'exploitation des archives de la presse locale, ont permis de réaliser un premier inventaire des crues historiques, avec dans certains cas la possibilité d'estimer le débit de pointe. Ces premiers résultats sont représentés sur la figure 5.

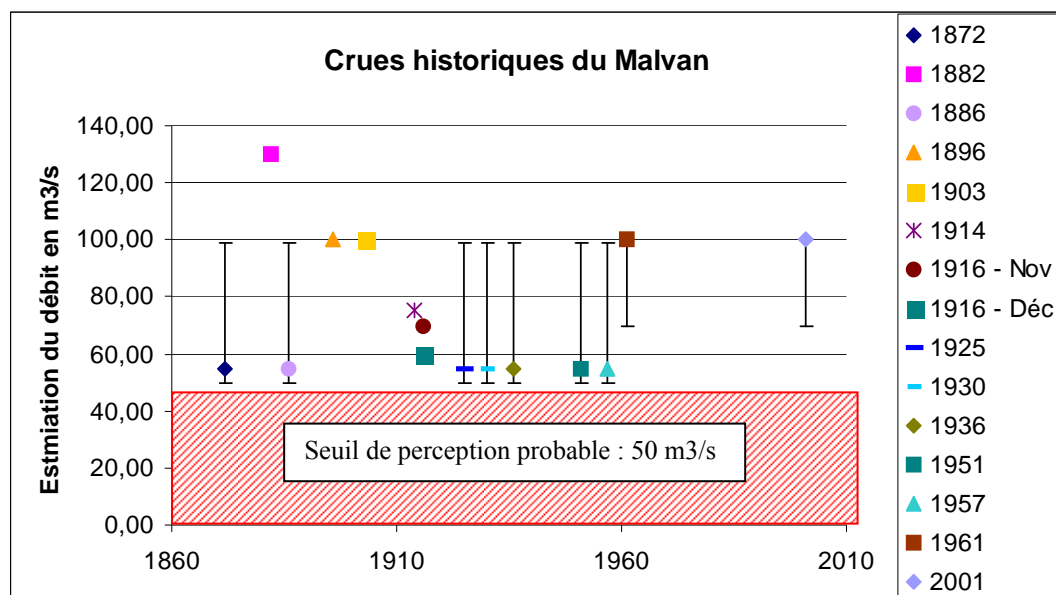


Figure 5 : Détail des crues historiques retrouvées pour le Malvan. Les barres d'erreur indiquent simplement les crues pour lesquelles les débits n'ont pu être évalués ou sont les plus incertains.

Malgré l'incertitude ou l'absence d'information sur la plupart des débits de pointe, et également l'absence de mesures systématiques de débits dans la période récente, le rapide inventaire effectué donne un bon aperçu des débits de pointe pouvant être atteints sur ce cours

d'eau : depuis 1872, quinze crues ont très probablement dépassé le débit de 50 m³/s, quatre d'entre elles au moins sont probablement plus proches de 100 m³/s, et une au moins a dépassé les 120 m³/s.

Quelques informations retrouvées sur les vallons niçois ont en outre montré que des ordres de grandeur de débit identiques pouvaient y être atteints. Suite à ce premier essai le cas des vallons niçois est actuellement approfondi par la SAFEGE.

4. Conclusion

L'utilisation de l'information historique sur les crues est un moyen utile de faire face au manque de mesures de débit sur les cours d'eau Français. Si l'information historique doit préalablement être collectée et reconstituée ce qui représente un investissement important ainsi que de réelles difficultés pratiques, l'information recueillie, même très incomplète, peut toujours être exploitée utilement, à différents degrés pouvant aller jusqu'au calage de lois statistiques (cas de l'Ardèche). Le cas de l'étude menée à Nice montre en outre qu'un balayage rapide des fonds d'archives peut déjà faire ressortir quelques éléments utiles (notamment les dates des principales crues), et permet de juger de la pertinence d'une poursuite des recherches. On peut retenir également que ce dernier cas trouve son application dans une zone urbaine.

Bibliographie

- Cœur D., Lang M. (2000). L'information historique des inondations : l'histoire ne donne-elle que des leçons ? *La Houille Blanche* 2000 n°2, p.79-84.
- Cohn T.A., Lane W.L., Baier W.G. (1997). An algorithm for computing moments-based flood quantiles estimates when historical flood information is available. *Water Resources Research* 33(9), p.2089-2096.
- Gaume E. (2002). *Eléments d'analyse sur les crues éclair*. Thèse de doctorat. ENGREF (France) et INRS-ETE (Québec). 359 p.
- Lang M., Naulet R., Recking A., Cœur D., Gigon D. (2002). Etude de cas : l'analyse des pluies et crues extrêmes observées depuis 200 ans dans un bassin cévenol, l'Ardèche. *La Houille Blanche* 2002 n°6/7, p.131-137.
- Naulet R. (2002). *Utilisation de l'information historique pour une meilleure prédétermination du risque d'inondation. Application au bassin de l'Ardèche à Vallon Pont-d'Arc et Saint-Martin d'Ardèche*. Thèse de doctorat. Cemagref Lyon (France) et INRS-ETE (Québec). 322 p.
- Ouarda T.B.M.J., Rasmussen P.F., Bobée B., Bernier J. (1998). Utilisation de l'information historique en analyse hydrologique fréquentielle. *Revue des sciences de l'eau* n° spécial 1998, p.41-49.
- Payraastre O. (2003). *Utilité de l'information historique pour la connaissance du risque de crue sur les bassins versants périurbains de l'agglomération Niçoise*. Rapport d'étude CERREVE, 52 p.
- Stedinger J.R., Cohn T.A. (1986). Flood frequency analysis with historical and paleoflood information. *Water Resources Research* 22(5), p.785-793.